

Three different approaches were taken to try to improve the legibility of a textbook for secondary schools: (1) two columns of about 58 mm (15 picas) line width instead of one column of about 126 mm (32 picas) line width, (2) insertion of additional space between the constituents of the sentences to convey the phrase structure of the text, and (3) "visualizing" the information by structuring it vertically and horizontally in such a way that the total design is more appropriate to the visual medium. In an experimental test of a lesson in physics printed in a standard version and in the above three experimental versions, given to 600 students, only the third one ("visualization") showed an improvement over the standard version.

Introduction

In this study we have tried to solve some practical problems in the typographic design of a secondary school textbook:

- (1) Given a standard page format of 164 mm by 233 mm, would a physics text be more legible if printed in one column of about 126 mm (32 picas) line width, or if printed in two columns each of about 58 mm (15 picas) line width?
- (2) Would additional spacing between words, trying to convey the syntactic structure of the sentence, increase legibility?
- (3) Can we find a way of utilizing better the two-dimensional space of a printed page; can we design textbook pages more appropriate to the visual medium than traditional texts?

To answer these questions a lesson from a physics textbook for secondary schools was redesigned in three versions, given to 600 students, and the learning success achieved with the re-designed versions compared to the original version as a standard.

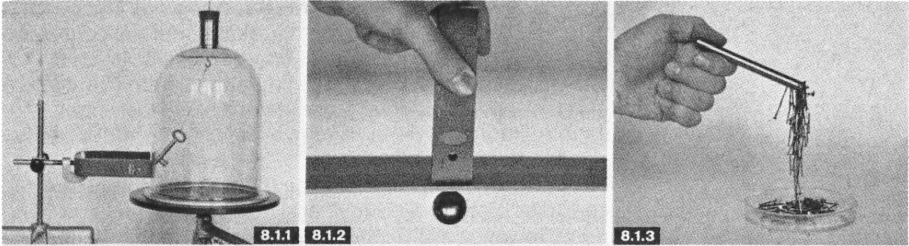
Visible Language
XIII 2 (1979)
pp. 108–133

Author's address:
Osdorfer Weg 65
2000 Hamburg 52, West Germany

0022-2224/79/0400-0124
\$02.00/0

© 1979 Visible Language
Box 1972 CMA
Cleveland OH 44106

Influences of typographic variables upon legibility of print have been under systematic psychological research at least since the 1930s, with a few studies dating back to the end of the last century. Results have been summarized, for example, by Tinker (1963, 1965), Zachrisson (1965), Spencer (1968), Plata (1974), and Rehe (1976). Most of these studies recommend an optimal line length of about 88 mm (18 picas) for 8- or 9-point type. However, this is not independent of the reader's age and reading skill nor of the contents of the text. Thus the recommendations conflict (Watts & Nisbeth, 1974), such that the optimal line length should be found for each individual purpose. Some considerations about relations between page size and column width can be found in Hartley (1978). Of course, the most natural thing for a textbook designer would be to find the optimal line length for his purpose and choose the book format accordingly. However, as learned in discussions with textbook publishers, things are not that easy. For various reasons (including the fact that children use school bags with little variation of size and format) textbooks must adhere to a standard format of about 164 × 233 mm overall and a page width of about 160 mm. The suggested optimal line length of 88 mm is too narrow for this page size, and two columns would not fit on the page. Would it be better, therefore, for the average reader of the respective age for which the textbook is planned to use a single wider column of 126 mm (32 picas) or two narrower columns of 58 mm (15 picas)? To answer this question a chapter from a textbook in physics for secondary school students (age about 12 to 14 years) was printed in two different versions to match these requirements. Version A (Figure 1) uses the traditional format of a single wide column, 126 mm (32 picas) wide; Version B (Figure 2) uses the double column format, each column 58 mm (15 picas) wide.



8.1.1. Der Magnet zieht den Schlüssel auch im luftleeren Raum an.

8.1.2. Die magnetische Kraft wirkt durch die Holzplatte auf die Stahlkugel.

8.1.3. Vom Magnetismus beeinflusste Nägel werden selbst zu Magneten.

8.1. Magnetische Erscheinungen

Die magnetische Anziehung. Wir alle haben gewiß schon Bekanntschaft gemacht mit jenen Eisenstücken, die die merkwürdige Eigenschaft haben, andere Eisenteile an sich zu ziehen. Man nennt sie *Magnete* und die damit im Zusammenhang stehenden Erscheinungen *Magnetismus*. Wir wollen uns ein wenig damit vertraut machen:

Versuch: Wir versuchen, auf welche anderen Stoffe ein Magnet anziehend wirkt: Kupferdraht, Messingschrauben, Aluminiumblech, Bleirohr, Holz, Stein, Kohle, Glas, Porzellan, nichts von alledem bleibt gleich dem Eisen an ihm haften.

So hat man viele Stoffe untersucht und herausgefunden, daß unter den natürlich vorkommenden Stoffen nur noch die Metalle Nickel und Kobalt vom Magnet angezogen werden. Man nennt sie zusammen mit dem Eisen *ferromagnetische Stoffe* (lat. ferum = Eisen).

Beim Experimentieren fällt uns auf: Die eisernen Nägel bewegen sich schon, wenn der Magnet nur in ihre Nähe kommt. Seine Kraft ist bereits ohne Berührung wirksam. Ohne sichtbaren Vermittler greift die Kraft an. Ob vielleicht die Luft ihr Träger ist?

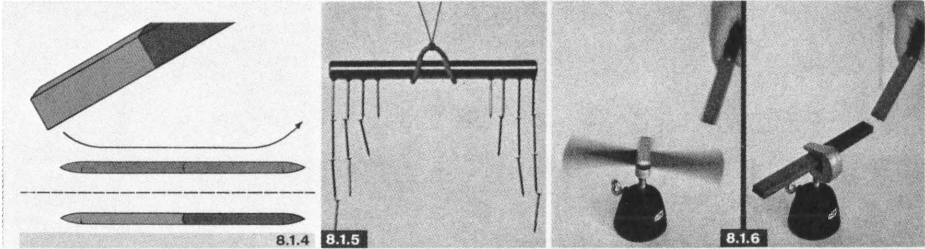
Versuch (Abb. 8.1.1): Wir hängen einen Schlüssel unter einer Glasglocke auf, aus der die Luft abgepumpt wird und nähern ihr den Magnet von außen: Offenbar ist auch die Luft nicht erforderlich, die magnetische Kraft weiterzuleiten. Es ist überhaupt kein Kraftüberträger wahrnehmbar.

Beim Versuch nach Abb. 8.1.1 entdecken wir außerdem, daß der Magnet auch durch das Glas hindurch wirkt, so als ob es gar nicht da wäre. Aber nicht nur bei Glas, auch bei Papier, Pappe, Holz, Blei, Stein und überhaupt bei allen nicht ferromagnetischen Stoffen können wir keine Behinderung des Magnetismus beobachten.

Versuch (Abb. 8.1.2): Da der Magnet auch durch die Tischplatte hindurch wirkt, lassen sich Eisenstückchen wie von Zauberhand bewegen.

Magnete machen Eisen magnetisch. *Versuch* (Abb. 8.1.3): Stecken wir einen Magnet in eine Schachtel mit Nägeln, so können wir beim Herausziehen gleich ein ganzes Büschel von ihnen erfassen. Wir bemerken, daß nicht alle Nägel unmittelbar am Magnet haften wie die Haare eines Pinsels, sondern daß sich zuweilen ganze Ketten von Nägeln bilden. Zwei, drei und manchmal noch mehr hängen aneinander.

Offenbar wirkt die Fähigkeit des Magneten, Eisen an sich zu ziehen, ansteckend, denn ein Nagel der Kette kann doch nur hängen bleiben, wenn sein Vorgänger selbst magnetisch ist. Woher hat er aber seine magnetischen Fähigkeiten? Doch wohl von seinem Vorgänger, und das erste Glied in dieser Kette ist der Magnet selbst.



8.1.4. Eine Stricknadel wird magnetisiert.

8.1.5. Der Magnet hat zwei Stellen stärkster Kraftwirkung: Die Pole.

8.1.6. Magnetpole können sich abstoßen oder anziehen: es gibt zwei Arten von Magnetpolen.

Diese Beobachtung legt auch die Vorstellung nahe, der Magnetismus »fließe« vom Magnet in den ersten Nagel und von dort, sich langsam abschwächend, von Nagel zu Nagel fort, bis schließlich seine Kraft nicht mehr ausreicht, einen weiteren Nagel zu halten. Man spricht deshalb auch von magnetischer Influenz (lat. influere = hineinfließen). Die beeinflussten Nägel werden so selbst zu kleinen Magneten.

Versuch: Entfernt man eine solche magnetische Nagelkette ganz langsam und vorsichtig vom Magnet, so verliert sie zunächst ihre unteren Glieder, bei größer werdendem Abstand fällt sie schließlich ganz auseinander.

Wir erkennen daraus, daß das »Fließen«, wenn auch stark geschwächt, nicht der unmittelbaren Berührung bedarf. Wird die Entfernung zu groß, so verschwindet der beeinflusste Magnetismus fast ganz. Nur ein paar Eisenfeilspäne bleiben an einem solchen Nagel noch hängen. Man spricht von Restmagnetismus oder *remanentem Magnetismus* (lat. remanere = zurückbleiben). Aber hierbei gibt es Unterschiede. Stahlstecknadeln und Stricknadeln bleiben stärker magnetisch als die gewöhnlichen Eisennägel. Man macht sich diese Eigenschaft bei der Herstellung von Magneten zunutze:

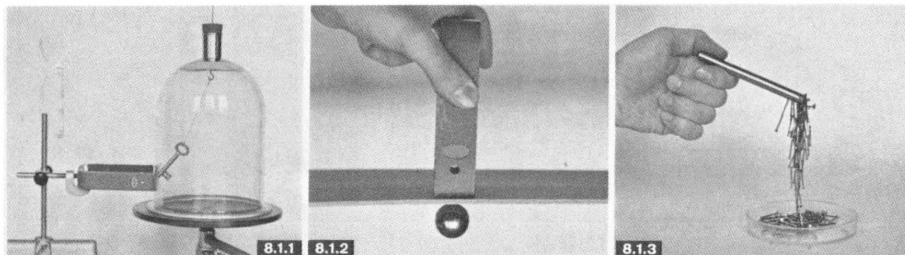
Versuch (Abb. 8.1.4): Streicht man wiederholt in der gleichen Richtung mit dem einen Ende eines kräftigen Magneten über eine Stricknadel, so wird sie selbst zu einem dauerhaften Magnet (Permanentmagnet; lat. permanere = verharren). Der ursprüngliche Magnet büßt erstaunlicherweise dadurch nichts von seiner Stärke ein, auch wenn man viele Stricknadeln magnetisiert. Seine Fähigkeit, Eisen anzuziehen, gibt er nicht einfach weiter, sondern er ruft neuen Magnetismus hervor. Das erfordert Arbeit. Sie wird beim Magnetisieren durch unsere Muskeln verrichtet.

Magnetpole. Unsere Versuche lassen uns erkennen, daß der Magnet nicht an allen Stellen gleichmäßig stark auf Eisen wirkt. Seine Anziehungskraft ist zu den Enden hin am stärksten, in der Mitte dagegen fast unmerklich (Abb. 8.1.5).

■ Die Stellen stärkster Kraftwirkung nennt man die Pole des Magneten.

Wie wirken zwei Magnete aufeinander? Sie ziehen sich besonders stark an oder, das ist überraschend neu, sie können sich auch ebenso heftig abstoßen. Manche Magnete sind so stark, daß man die sich abstoßenden Pole kaum mit den Händen aufeinanderzu bewegen kann. Aber woher rührt auf einmal die Abstoßung? Wann ziehen Magnete einander an, wann stoßen sie sich ab?

Versuch (Abb. 8.1.6): Der drehbar gelagerte Magnet sucht sich zu drehen, wenn man ihm den Pol eines anderen nähert. Immer ist es der gleiche Pol, mit dem er sich dem gehaltenen Magnet entgegenstreckt bzw. von ihm abwendet. Wenden wir den Magnet in



8.1.1. Der Magnet zieht den Schlüssel auch im luftleeren Raum an.

8.1.2. Die magnetische Kraft wirkt durch die Holzplatte auf die Stahlkugel.

8.1.3. Vom Magnetismus beeinflusste Nägel werden selbst zu Magneten.

8.1. Magnetische Erscheinungen

Die magnetische Anziehung. Wir alle haben gewiß schon Bekanntschaft gemacht mit jenen Eisenstücken, die die merkwürdige Eigenschaft haben, andere Eisenteile an sich zu ziehen. Man nennt sie *Magnete* und die damit im Zusammenhang stehenden Erscheinungen *Magnetismus*. Wir wollen uns ein wenig damit vertraut machen:

Versuch: Wir versuchen, auf welche anderen Stoffe ein Magnet anziehend wirkt: Kupferdraht, Messingschrauben, Aluminiumblech, Bleirohr, Holz, Stein, Kohle, Glas, Porzellan, nichts von alledem bleibt gleich dem Eisen an ihm haften.

So hat man viele Stoffe untersucht und herausgefunden, daß unter den natürlich vorkommenden Stoffen nur noch die Metalle Nickel und Kobalt vom Magnet angezogen werden. Man nennt sie zusammen mit Eisen *ferromagnetische Stoffe* (lat. ferum = Eisen). Beim Experimentieren fällt uns auf: Die eisernen Nägel bewegen sich schon, wenn der Magnet nur in ihre Nähe kommt. Seine Kraft ist bereits ohne Berührung wirksam. Ohne sichtbaren Vermittler greift die Kraft an. Ob vielleicht die Luft ihr Träger ist?

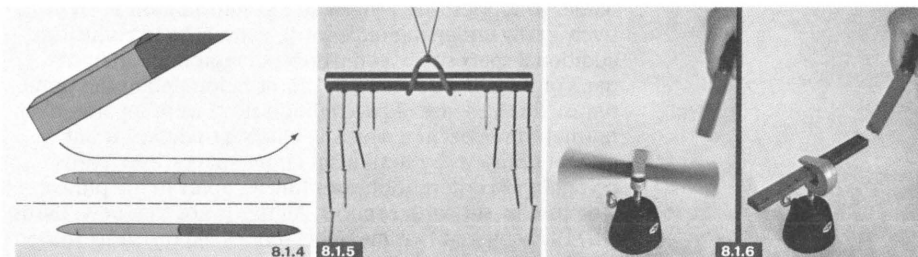
Versuch (Abb. 8.1.1): Wir hängen einen Schlüssel unter einer Glasglocke auf, aus der die Luft abgepumpt wird und nähern ihr den Magnet von außen: Offenbar ist auch die Luft nicht erforderlich, die magnetische Kraft weiterzuleiten. Es ist überhaupt kein Kraftüberträger wahrnehmbar.

Beim Versuch nach Abb. 8.1.1 entdecken wir außerdem, daß der Magnet auch durch das Glas hindurch wirkt, so als ob es gar nicht da wäre. Aber nicht nur bei Glas, auch bei Papier, Pappe, Holz, Blei, Stein und überhaupt bei allen nicht ferromagnetischen Stoffen können wir keine Behinderung des Magnetismus beobachten.

Versuch (Abb. 8.1.2): Da der Magnet auch durch die Tischplatte hindurch wirkt, lassen sich Eisenstückchen wie von Zauberhand bewegen.

Magnete machen Eisen magnetisch. *Versuch* (Abb. 8.1.3): Stecken wir einen Magnet in eine Schachtel mit Nägeln, so können wir beim Herausziehen gleich ein ganzes Büschel von ihnen erfassen. Wir bemerken, daß nicht alle Nägel unmittelbar am Magnet haften wie die Haare eines Pinsels, sondern daß sich zuweilen ganze Ketten von Nägeln bilden. Zwei, drei und manchmal noch mehr hängen aneinander. Offenbar wirkt die Fähigkeit des Magneten, Eisen an sich zu ziehen, ansteckend, denn ein Nagel der Kette kann doch nur hängen bleiben, wenn sein Vorgänger selbst magnetisch ist. Woher hat er aber seine magnetischen Fähigkeiten? Doch wohl von seinem Vorgänger, und das erste Glied in dieser Kette ist der Magnet selbst.

Diese Beobachtung legt auch die Vorstellung nahe, der Magnetismus »fließe« vom Magnet in den ersten Nagel und von dort, sich langsam abschwächend, von Nagel zu Nagel fort, bis schließlich seine Kraft nicht



8.1.4. Eine Stricknadel wird magnetisiert.

8.1.5. Der Magnet hat zwei Stellen stärkster Kraftwirkung: Die Pole.

8.1.6. Magnetpole können sich abstoßen oder anziehen: es gibt zwei Arten von Magnetpolen.

mehr ausreicht, einen weiteren Nagel zu halten. Man spricht deshalb auch von magnetischer Influenz (lat. influere = hin-einfließen). Die beeinflussten Nägel werden so selbst zu kleinen Magneten.

Versuch: Entfernt man eine solche magnetische Nagelkette ganz langsam und vorsichtig vom Magnet, so verliert sie zunächst ihre unteren Glieder, bei größer werdendem Abstand fällt sie schließlich ganz auseinander.

Wir erkennen daraus, daß das »Fließen«, wenn auch stark geschwächt, nicht der unmittelbaren Berührung bedarf. Wird die Entfernung zu groß, so verschwindet der influenzierte Magnetismus fast ganz. Nur ein paar Eisenfeilspäne bleiben an einem solchen Nagel noch hängen. Man spricht von Restmagnetismus oder *remanentem Magnetismus* (lat. remanere = zurückbleiben). Aber hierbei gibt es Unterschiede. Stahlstecknadeln und Stricknadeln bleiben stärker magnetisch als die gewöhnlichen Eisennägel. Man macht sich diese Eigenschaft bei der Herstellung von Magneten zunutze:

Versuch (Abb. 8.1.4): Streicht man wiederholt in der gleichen Richtung mit dem einen Ende eines kräftigen Magneten über eine Stricknadel, so wird sie selbst zu einem dauerhaften Magnet (Permanentmagnet; lat. permanere = verharren). Der ursprüngliche Magnet büßt erstaunlicherweise dadurch nichts von seiner Stärke ein, auch wenn man viele Stricknadeln magnetisiert.

Seine Fähigkeit, Eisen anzuziehen, gibt er nicht einfach weiter, sondern er ruft neuen Magnetismus hervor. Das erfordert Arbeit. Sie wird beim Magnetisieren durch unsere Muskeln verrichtet.

Magnetpole. Unsere Versuche lassen uns erkennen, daß der Magnet nicht an allen Stellen gleichmäßig stark auf Eisen wirkt. Seine Anziehungskraft ist zu den Enden hin am stärksten, in der Mitte dagegen fast unmerklich (Abb. 8.1.5).

■ *Die Stellen stärkster Kraftwirkung nennt man die Pole des Magneten.*

Wie wirken zwei Magnete aufeinander? Sie ziehen sich besonders stark an oder, das ist überraschend neu, sie können sich auch ebenso heftig abstoßen. Manche Magnete sind so stark, daß man die sich abstoßenden Pole kaum mit den Händen aufeinander zu bewegen kann. Aber woher rührt auf einmal die Abstoßung? Wann ziehen Magnete einander an, wann stoßen sie sich ab?

Versuch (Abb. 8.1.6): Der drehbar gelagerte Magnet sucht sich zu drehen, wenn man ihm den Pol eines anderen nähert. Immer ist es der gleiche Pol, mit dem er sich dem hingehaltenen Magnet entgegenstreckt bzw. von ihm abwendet. Wenden wir den Magnet in unserer Hand, so vertauschen die Pole des liegenden Magneten ihre Rolle. Man muß daraus folgern, daß die beiden Pole eines Magneten verschiedenartig sind. Man sieht es nicht selten schon an der unterschiedlichen Lackierung. Sind es nun

When talking we do not utter all syllables and words at the same pace; we give our listeners an interpretation aid by conveying the semantical and syntactical structure of our phrases by pausing between sections or by speaking words faster when they belong together. Only part of this syntactic information is represented in the punctuation of the written form. We thought it might be of some help for the reader to suggest this otherwise lost information in an intuitively easily understandable form, namely by introducing additional spaces between words belonging to different parts of the phrase structure. Words belonging to the same phrase (in the sense of psycholinguistics) were separated by normal word spacing, words belonging to different but adjacent phrases by somewhat larger spaces, and words belonging to different phrases further apart in the phrase structure by still larger spaces. All this is not that new: Cyrus (1971) discovered that medieval scribes did the same thing.

We hypothesized that this additional interpretation aid would result in better legibility and understandability of printed text. We thought it might be possible to guide the eyes' saccades from one fixation point to the other by allowing the reader to grasp meaningful elements of the sentence rather than random sets of letters. Our hope for this effect was nourished by the findings of Andrews (1949) and North & Jenkins (1951) who found some improvement of legibility with

the so	square	style of	
called	span	typography	
as well as	with the	spaced units	style of pre- sentation.

Andrews thought that his square-span presentation would enable the reader to grasp more words with each fixation by making more use of peripheral vision in recognizing word patterns; North & Jenkins showed that the improvement is actually due to the larger spacing between groups of words. Payne (1967) found an improvement of reading speed with proportional spacing of several passages from the Davis reading test with no loss of comprehension, and more so with the more difficult passages of the test.

An intuitively appealing hypothesis is that we would get additional improvement of information processing by making the spaced units elements of the phrase structure of the sentence. This hypothesis is supported by findings by Fodor & Bever (1965) that phrases may be the perceptual units of spoken language; by Mehler, Bever, & Carey (1967) that eye movement fixations concentrate on the first half of phrase units; by Epstein (1967) who found that chunking facilitates the free recall of sentences; and by Anglin & Miller (1968) who presented to their subjects segmented sentences on a memory drum, each segmented in a phrase structure mode, and in a non-phrase-segmented mode "prepared exactly in the same way" as the phrase segmented material "except that the sentences were segmented exactly two words to the left of the phrase boundaries." In writing down "word for word, all they remembered of the paragraph," the subjects recalled "slightly but significantly" (about 6%) more words of the text presented in the phrase segmented mode than of that in the non-phrase segmented mode. Anglin & Miller interpreted this result as supporting the "psychological validity of phrase structure."

Cromer (1970), in analysing reading difficulties of college students, assumed that some poor readers organize the flow of information input just "different" from other readers; i.e., "in a word by word fashion rather than into meaningful units such as phrases, and they lose part of the meaning which is carried by combinations of words" (p. 472). Cromer expected that if material were preorganized into meaningful word groupings, comprehension for the poor readers would be facilitated. To test his hypothesis, Cromer presented a series of stories in four different typographic styles, one of which was a phrase segmented mode. His results showed that the poor readers indeed answered significantly more questions correctly on the phrase mode than on any other mode (where their scores were lower than those of their matched good readers). In other words, the poor readers "comprehended significantly less well than their matched good readers except when the material was presented in phrases, in which case they read as well as the good readers."

Carver (1970), inspired by Miller's (1956) idea that "chunking" may facilitate information processing, studied the effect of a "chunked" typography upon the reading rate and comprehension in a series of three consecutive experiments with a total of 104 mature readers. His "chunking" followed the guidelines by Klare et al. (1957), and thus the phrase structure of the sentences. However, he failed to find any important or statistically significant difference between his "chunked" typography and the standard format, neither in speed of reading nor in comprehension. Carver did not see his results in conflict with those more successful studies quoted above, nor with those by Graf & Torrey (1966) who found that chunking of the reading material improved comprehension scores if the material was to be read at a rate faster than the normal rate. Carver thinks there is an "important difference between the skills and activities involved in normal reading by mature readers, and those skills and activities involved when reading at a rate faster than normal, when recalling sentences, and when memorizing passages" (p. 296).

Hartley & Burnhill (1971), in an experiment to find rules for the optimal use of unjustified text, tested standard unjustified text versus an unjustified text where the line length was determined by grammatical constraints, i.e. "lines stopped between syntactic units rather than within them." Results showed no significant difference between these two modes, neither in the number of words read in seven minutes, nor in comprehension test scores, nor in preference. Thus, Hartley & Burnhill's results agree with those by Carver (1970).

To test our assumption of increased legibility with additional spacing between phrase ("chunked typography"), we designed Version C of our physics chapter (Figure 3). This required additional preparation. First, we had to decide how large to make the additional spaces. Making them too large would require longer saccades and thus decrease the speed of reading. On the other hand, the additional spaces had to be large enough to be discriminated from the regular space and between each other. In an extra experiment (using the method of threshold determination from psychophysics) we found with a sample of 200 fifth graders (age about 10–11 years) that in using a 9-point roman typeface the following spaces would be discriminated with an accuracy of more than 95%:

regular space	:	3 point
large space	:	8 point
very large space	:	11 point

Next, we had to decide where to put these additional spaces in our experimental text. This was done with the advice of Wolfgang Walther, a psycholinguist from Stuttgart, taking into account not only syntactical points of view (the phrase structure of the sentences) but also semantical ones (contents of the text). We had then a Version C of our physics lesson printed with these additional spaces but otherwise identical with the standard Version A.

We expected that reading text with these additional spaces would be rather unfamiliar for our experimental subjects, and therefore we wanted to prepare them for this new kind of presentation of text. A short story of about 1200 words was printed with additional spaces according to the syntactical structure of the text and given our subjects about a week before the experiment. The existence and meaning of the additional spacing was explicitly brought to their attention by their teachers.

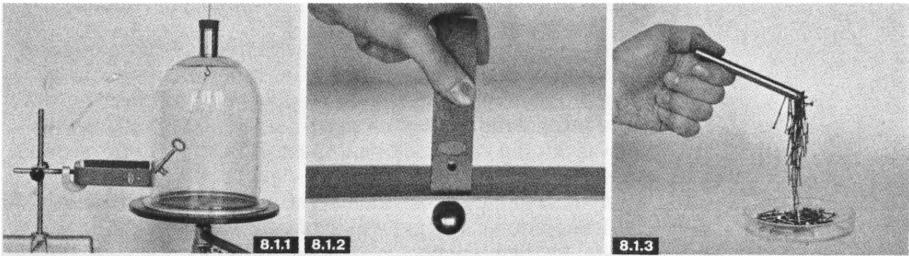
Visualizing the Information

In our fourth version of the text, we tried quite a different way of visually presenting text book information. We thought that with a more appropriate use of the visible medium we would need fewer words (using less repetition, less redundancy, since the information is “always there”) and be able to utilize other more visual means of communicating connections, associations, and contingencies between parts of our text.

With this in mind, two typographers from Hamburg, Dierk Becker and Jörg Heinrich, designed a “visualized” version D of our physics chapter (Figure 4). Some of the ideas they used can be found in their thesis (Becker & Heinrich, 1969, 1970).

For our visualized version the original text was first rewritten; separating sentences containing basic information (column 1) from sentences containing additional explanations such as deductions, demonstrations, descriptions of experiments (column 2), and from auxiliary, historical, or other marginal information which connect the contents of the lesson to other areas of daily life (column 4). Figures were either placed in column 3 (next to their explanations in column 2) or in column 4, if they contained side information. Moreover, paragraphs and sentences belonging together (e.g., a basic sentence and its explanation or an experiment demonstrating it) were connected by means of a common yellow background.

With this presentation the reader was free of work through the chapter either horizontally (reading the basic information, then the demonstration and experiments next to it) or vertically (reading first all the basic information, then going into more details in the second column). Or the reader might get interested in the pictures first, go left to the explanation, and then to the basic information as a summary. We hoped that this kind of graphic design would appeal to our young readers as more motivating and interesting than regular columns of printed text, alluding a little bit to the graphic design principles of comic strips.



- 8.1.1. Der Magnet zieht den Schlüssel auch im luftleeren Raum an.
 8.1.2. Die magnetische Kraft wirkt durch die Holzplatte auf die Stahlkugel.
 8.1.3. Vom Magnetismus beeinflusste Nägel werden selbst zu Magneten.

8.1. Magnetische Erscheinungen

Die magnetische Anziehung. Wir alle haben gewiß schon Bekanntschaft gemacht mit jenen Eisenstücken, die die merkwürdige Eigenschaft haben, andere Eisenteile an sich zu ziehen. Man nennt sie *Magnete* und die damit im Zusammenhang stehenden Erscheinungen *Magnetismus*. Wir wollen uns ein wenig damit vertraut machen:

Versuch: Wir versuchen, auf welche anderen Stoffe ein Magnet anziehend wirkt: Kupferdraht, Messingschrauben, Aluminiumblech, Bleirohr, Holz, Stein, Kohle, Glas, Porzellan, nichts von alledem bleibt gleich dem Eisen an ihm haften.

So hat man viele Stoffe untersucht und herausgefunden, daß unter den natürlich vorkommenden Stoffen nur noch die Metalle Nickel und Kobalt vom Magnet angezogen werden. Man nennt sie zusammen mit dem Eisen *ferromagnetische Stoffe* (lat. ferrum = Eisen).

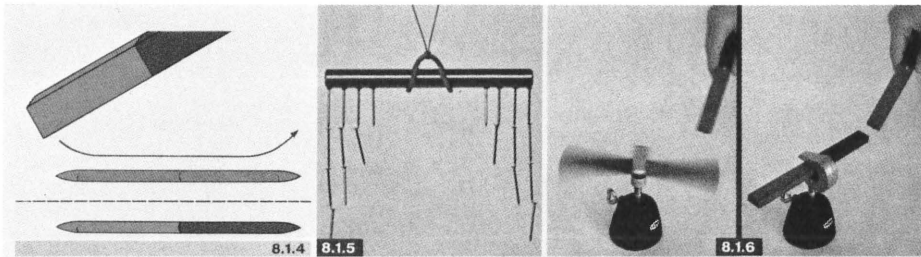
Beim Experimentieren fällt uns auf: Die eisernen Nägel bewegen sich schon, wenn der Magnet nur in ihre Nähe kommt. Seine Kraft ist bereits ohne Berührung wirksam. Ohne sichtbaren Vermittler greift die Kraft an. Ob vielleicht die Luft ihr Träger ist?

Versuch (Abb. 8.1.1): Wir hängen einen Schlüssel unter einer Glasglocke auf, aus der die Luft abgepumpt wird und nähern ihr den Magnet von außen: Offenbar ist auch die Luft nicht erforderlich, die magnetische Kraft weiterzuleiten. Es ist überhaupt kein Kraftüberträger wahrnehmbar.

Beim Versuch nach Abb. 8.1.1 entdecken wir außerdem, daß der Magnet auch durch das Glas hindurch wirkt, so als ob es gar nicht da wäre. Aber nicht nur bei Glas, auch bei Papier, Pappe, Holz, Blei, Stein und überhaupt bei allen nicht ferromagnetischen Stoffen können wir keine Behinderung des Magnetismus beobachten.

Versuch (Abb. 8.1.2): Da der Magnet auch durch die Tischplatte hindurch wirkt, lassen sich Eisenstückchen wie von Zauberhand bewegen.

Magnete machen Eisen magnetisch. *Versuch* (Abb. 8.1.3): Stecken wir einen Magnet in eine Schachtel mit Nägeln, so können wir beim Herausziehen gleich ein ganzes Büschel von ihnen erfassen. Wir bemerken, daß nicht alle Nägel unmittelbar am Magnet haften wie die Haare eines Pinsels, sondern daß sich zuweilen ganze Ketten von Nägeln bilden. Zwei, drei und manchmal noch mehr hängen aneinander.



8.1.4. Eine Stricknadel wird magnetisiert.

8.1.5. Der Magnet hat zwei Stellen stärkster Kraftwirkung: Die Pole.

8.1.6. Magnetpole können sich abstoßen oder anziehen; es gibt zwei Arten von Magnetpolen.

Offenbar wirkt die Fähigkeit des Magneten, Eisen an sich zu ziehen, ansteckend, denn ein Nagel der Kette kann doch nur hängen bleiben, wenn sein Vorgänger selbst magnetisch ist. Woher hat er aber seine magnetischen Fähigkeiten? Doch wohl von seinem Vorgänger, und das erste Glied in dieser Kette ist der Magnet selbst.

Diese Beobachtung legt auch die Vorstellung nahe, der Magnetismus „fließe“ vom Magnet in den ersten Nagel und von dort, sich langsam abschwächend, von Nagel zu Nagel fort, bis schließlich seine Kraft nicht mehr ausreicht, einen weiteren Nagel zu halten. Man spricht deshalb auch von magnetischer Influenz (lat. influere = hineinfließen). Die beeinflussten Nägel werden so selbst zu kleinen Magneten.

Versuch: Entfernt man eine solche magnetische Nagelkette ganz langsam und vorsichtig vom Magnet, so verliert sie zunächst ihre unteren Glieder, bei größer werdendem Abstand fällt sie schließlich ganz auseinander.

Wir erkennen daraus, daß das „Fließen“, wenn auch stark geschwächt, nicht der unmittelbaren Berührung bedarf. Wird die Entfernung zu groß, so verschwindet der influenzierte Magnetismus fast ganz. Nur ein paar Eisenfeilspäne bleiben an einem solchen Nagel noch hängen. Man spricht von Restmagnetismus oder *remanentem Magnetismus* (lat. remanere = zurückbleiben). Aber hierbei gibt es Unterschiede. Stahlstecknadeln und Stricknadeln bleiben stärker magnetisch als die gewöhnlichen Eisennägel. Man macht sich diese Eigenschaft bei der Herstellung von Magneten zunutze:

Versuch (Abb. 8.1.4): Streicht man wiederholt in der gleichen Richtung mit dem einen Ende eines kräftigen Magneten über eine Stricknadel, so wird sie selbst zu einem dauerhaften Magnet (Permanentmagnet; lat. permanere = verharren). Der ursprüngliche Magnet büßt erstaunlicherweise dadurch nichts von seiner Stärke ein, auch wenn man viele Stricknadeln magnetisiert. Seine Fähigkeit, Eisen anzuziehen, gibt er nicht einfach weiter, sondern er ruft neuen Magnetismus hervor. Das erfordert Arbeit. Sie wird beim Magnetisieren durch unsere Muskeln verrichtet.

Magnetpole. Unsere Versuche lassen uns erkennen, daß der Magnet nicht an allen Stellen gleichmäßig stark auf Eisen wirkt. Seine Anziehungskraft ist zu den Enden hin am stärksten, in der Mitte dagegen fast unmerklich (Abb. 8.1.5).

■ Die Stellen stärkster Kraftwirkung nennt man die Pole des Magneten.

123

Wie wirken zwei Magnete aufeinander? Sie ziehen sich besonders stark an oder, das ist überraschend neu, sie können sich auch ebenso heftig abstoßen.

Magnetische Erscheinungen

Die magnetische Anziehung. Manche Eisenstücke haben die merkwürdige Eigenschaft, andere Eisenteile an sich zu ziehen. Man nennt sie **Magnete**. Außer Eisen und Stahl werden auch Nickel und Kobalt von Magneten angezogen. Man nennt sie zusammen mit dem Eisen **ferromagnetische Stoffe**.

Magnete machen Eisen magnetisch: Die Fähigkeit, Eisen anzuziehen, wirkt ansteckend. Z. B. kann in einer Nagelkette ein Nagel an seinem Vorgänger hängenbleiben, wenn dieser selbst oder auch nur sein Vorgänger an einem Magneten hängt. Man kann sich vorstellen, der Magnetismus „fließe“ vom Magnet in den ersten Nagel, und von dort, sich langsam abschwächend, von Nagel zu Nagel. Man spricht deshalb auch von **magnetischer Influenz**. Dabei bedarf es nicht der unmittelbaren Berührung, aber bei zu großer Entfernung verschwindet der influenzierte Magnetismus fast ganz. Nur ein schwacher **remanenter oder Restmagnetismus** bleibt noch übrig.

Magnetpole: Ein Magnet wirkt nicht an allen Stellen gleich stark. Seine Anziehungskraft ist an den Enden am stärksten, in der Mitte dagegen fast unmerklich. **Die Stellen stärkster Kraftwirkung nennt man die Pole des Magneten.**

Versuch: Wir untersuchen, auf welche Stoffe ein Magnet anziehend wirkt. Dies ist der Fall bei Gegenständen aus Eisen, Nickel oder Kobalt. Dagegen werden Kupferdraht, Messingschrauben, Aluminiumblech, Bleirohr, Holz, Stein, Kohle, Glas, Porzellan vom Magnet nicht angezogen.

Versuch (Abb. 8.1.1): Wir hängen einen Schlüssel unter einer Glasglocke auf, aus der die Luft abgepumpt wird und nähern ihr den Magnet von außen: Offenbar ist die Luft nicht erforderlich, die magnetische Kraft weiterzuleiten. Auch mit Glas, Papier, Pappe, Holz, Blei, Stein und überhaupt bei allen nicht-ferromagnetischen Stoffen können wir keine Behinderung des Magnetismus beobachten.

Versuch (Abb. 8.1.2): Stecken wir einen Magnet in eine Schachtel mit Nägeln, so können wir beim Herausziehen gleich ein ganzes Büschel von ihnen erfassen. Wir bemerken, daß nicht alle Nägel unmittelbar am Magnet haften wie die Haare eines Pinsels, sondern daß sich zuweilen ganze Ketten von Nägeln bilden.

Versuch: Entfernt man eine solche magnetische Nagelkette ganz langsam und vorsichtig vom Magnet, so verliert sie zunächst ihre unteren Glieder, bei größer werdendem Abstand fällt sie schließlich ganz auseinander.

Versuch (Abb. 8.1.3): Stecken wir einen Magnet in eine Schachtel mit Nägeln, so können wir beim Herausziehen feststellen, daß er nicht überall gleich stark ist. Seine Anziehungskraft ist zu den Enden hin am stärksten, in der Mitte dagegen fast unmerklich.

Abb. 8.1.1

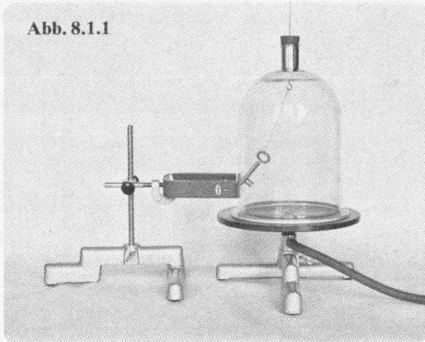


Abb. 8.1.2

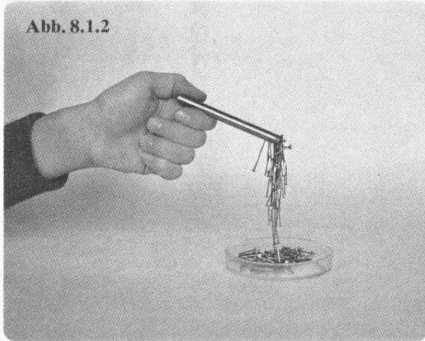
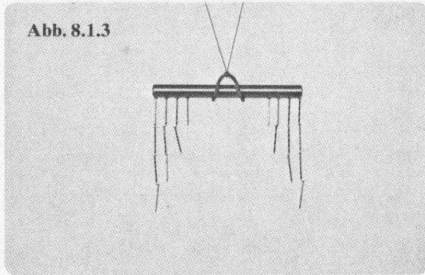


Abb. 8.1.3



Die Worte „Magnet“ und „Magnetismus“ kommen von dem Namen **Magnesia**. So heißt eine Halbinsel in Kleinasien, von der schon im Altertum bekannte magnetische Gesteine herkommen.

Aufgaben

1. Was versteht man unter einem Magnet?
2. Welche Stoffe sind ferromagnetisch?
3. Wie stellt man fest, ob ein Stoff magnetisch ist?
4. Was versteht man unter magnetischer Influenz?
5. Wie bezeichnet man die Stellen eines Magneten mit der stärksten Kraftwirkung?

Wirkung der Pole aufeinander: Zwei Magneten ziehen einander besonders stark an, können einander aber auch heftig abstoßen. Die beiden Pole eines Magneten sind verschieden. Haben zwei Magnetpole auf einen dritten die gleiche Wirkung, so sind sie gleich. Jeder Magnet hat zwei verschieden wirkende Pole.

Gleichartige Magnetpole stoßen einander ab, ungleichartige ziehen einander an.

Bezeichnung der Magnetpole: Die Magnetpole werden nach den Himmelsrichtungen benannt, in die sie sich bei freidrehbarer Aufhängung drehen: **Der nach Norden weisende Pol heißt Nordpol, der nach Süden gerichtete Südpol.**

Teilt man einen Magneten, so werden nicht die Pole getrennt, sondern entstehen neue Magnete mit neuen Polen an den Enden der Teilstücke.

Die kleinsten Magnetchen, die man sich durch Teilung aus einem Magneten entstanden denken kann, werden **Elementarmagnete** genannt.

Bei der magnetischen Influenz wird ein dem Magneten nahes Eisen selbst zum Magneten. Da es angezogen wird, muß es so gepolt sein, daß es dem ihm nächstgelegenen Magnetpol gerade den ungleichnamigen Pol zuwendet. Ungleiche Pole liegen dann also benachbart und ziehen einander an. **Die Anziehung zwischen Magnet und Eisen beruht auf der Anziehung ungleichnamiger Magnetpole.**

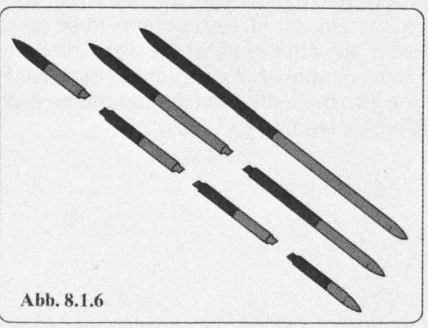
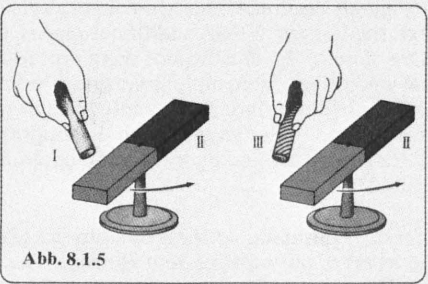
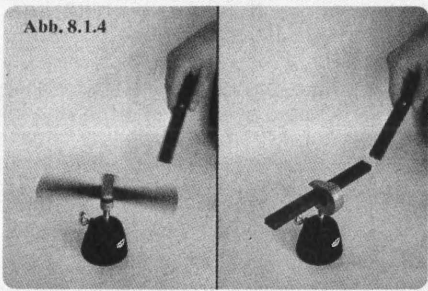
Versuch (Abb. 8.1.4): Der drehbar gelagerte Magnet sucht sich zu drehen, wenn man ihm den Pol eines anderen nähert. Immer ist es der gleiche Pol, mit dem er sich dem hingehaltenen Magnet entgegenstreckt bzw. von ihm abwendet. Wenden wir den Magnet in unserer Hand, so vertauschen die Pole des liegenden Magneten ihre Rolle.

Versuch (Abb. 8.1.5): Wir nehmen einen dritten Magnet so in die linke Hand, daß er auf einen drehbar gelagerten Magnet die gleiche Wirkung ausübt, wie der Magnet in der rechten Hand. Nun wissen wir: Beide Hände halten dem drehbar gelagerten Magnet gleiche Pole entgegen. Diese beiden Pole bewegen wir jetzt aufeinander zu und stellen fest, daß sie sich gegenseitig abstoßen. Dreht man einen Magnet um, so ziehen sie sich gegenseitig an.

Versuch: Hängt man Magnete an einem dünnen Faden auf, so orientieren sie sich nach einiger Zeit fast genau in Nord-Süd-Richtung. Danach sind die Pole der Magnete benannt.

Die Elementarmagnete. Versucht man, die beiden Pole eines Magneten zu trennen, so stellt man fest, daß dies nicht möglich ist. Man erhält stets wieder neue Magnete mit zwei Polen (Abb. 8.1.6). Da die Teilung eines Magneten nicht beliebig oft ausgeführt werden kann, gelangt man schließlich zu einem **kleinsten Magnet**.

Kneifen wir eine magnetisierte Stricknadel in der Mitte durch, so erhalten wir nicht die Magnetpole getrennt, sondern zwei kleine Magnete. Die beiden gerade getrennten Enden ziehen einander an. Drehen wir aber das eine Teilstück um, so spüren wir deutlich Abstoßung. Fügen wir die beiden Teile mit ihren Schnittstellen so gut wie möglich wieder zusammen, so verschwinden die neu entstandenen Pole, die Mitte wird wieder nahezu unmagnetisch. Könnte man das Gefüge vollkommen wieder herstellen, wir hätten wieder den ursprünglichen magnetischen Zustand.



Aufgaben

1. Wie wirken zwei Magnetpole aufeinander?
2. Wie kann man feststellen, welcher Pol eines Magnets der Nordpol ist?

Although the experimental variable we wanted to test in Version D (as compared to Version A) was typographic layout, we had to change more than just the position of text and pictures. To separate the three levels of text (main, explanatory, marginal), we had to rewrite most of the sentences. In total we actually shortened the text (from 1810 words to 1185 words), mainly by avoiding repetitions. We also added questions about the contents of the preceding columns in column four. Thus we changed more than one variable in designing the visualized Version D. In comparing its effectiveness against the traditional Versions A and B, therefore, it will be impossible to decide to which of these variables to attribute any differences.

As with Version C, we thought that Version D would require some familiarization with the new way of displaying information. Thus, we took another chapter from the same textbook, redesigned it in the same manner as Version D, and presented this to our subjects about one week prior to the actual experiment.

Experimental material

The material for our experimental study consisted of four versions of a chapter on magnets from a physics textbook: the standard (original) Version A, the two-column Version B of the same text, the Version C with additional spaces, and the visualized Version D. The illustrations were reproduced in full color and were identical in all four versions. In Version D, columns 1–3 were printed on a white background, with a light gray margin underlying column 4. Paragraphs belonging together were marked by means of a common yellow background.

These four differently designed versions of a physics lesson constituted the levels of our independent variable. The dependent variables were (i) time taken by the student to read, or work through the respective text, (ii) achievement gained from a text on the contents of the text, and (iii) students intuitive rank order of preferences for the four different versions.

To measure achievement (knowledge gained from the text) we developed a 20-item test on the contents to be given to the subjects before and after reading the text. The difference between scores (number of items correctly solved after minus before reading the text) was taken as the measure of knowledge gained by reading the text.

Experimental procedure

The experimental study was conducted in 18 classes of grades 6 to 8 in five secondary schools (Realschulen) in Niedersachsen, F. R. Germany. The students were about 12 to 15 years old. About one week before the experimental session, each class was given the short story with additional spaces and the "visualized" physics lesson, to help familiarize the students with these kinds of presentation.

The experimental session itself took about 90 minutes, the time of two regular school lessons. First, the students were given an initial achievement test with instructions to complete the test even without knowing much about the questions asked. It was made clear to them that this test was given only to find out how much they knew already from other sources about magnets, prior to reading the chapter from the physics textbook. The teacher or experimenter then explained the scope and purpose of the study, and silently demonstrated some of the physics experiments described in the text to be read. In some classes, the students also had some material on their desks to experiment themselves. (To our surprise, these classes actually did not take more time to work through the tests than classes without this opportunity.)

After the demonstration each class was divided at random into four groups of equal size; all members of each group were given the same version (A, B, C or D) of the experimental text. Students sitting together at the same table belonged to the same group, but groups were randomly distributed over the room. Each student had a printed version of the experimental text face down in front of him on his desk. At a sign given by the experimenter, each student turned it over and immediately started reading. It was made clear to the students that in spite of the timing procedure, it was more important to read the text completely and carefully than to finish in a short time. They were instructed to raise their hand when they had finished reading; the experimenter or helper then registered the time taken, collected the text sheets, and gave the student the second achievement test. After the second test was completed and turned in, each student was shown all four versions of the text and asked to indicate a personal rank order preference.

Results

The dependent variables of this experiment, reading time and achievement test scores, were analysed by means of analysis of variance between the four different versions of the text (Tables I and II). (In analysing the achievement test scores, after reading the text, achievement scores on the same text taken before reading the text were used as a covariate to reduce error variance.) Pairwise t-tests between the standard Version A and the new Version B, C, and D displayed in Table III indicated that the significant differences between means are not altogether due to a superiority of the new versions over the standard but rather to overall differences partly due to the inferiority of some of the experimental versions as well. This has to be taken into account in interpreting the results in more detail.

Table I.

Analysis of Covariance for Achievement Test Scores

<i>Source of variation</i>	Sum of squares	df	Mean square	F	$p \leq$
Test scores before (covariate)	3640.262	1	3640.262	714.833	0.001
Test scores after (dependent variable)					
Main effects	1648.644	21	78.507	15.416	0.001
Between versions A, B, C, D	75.703	3	25.234	4.955	0.002
Between classes	1580.371	18	87.798	17.241	0.001
Interaction	481.041	50	8.361	1.642	0.005
Total variance accounted for	5706.948	72	79.263	15.565	0.001
Residual (error variance)	2683.717	527	5.092		
<i>Total</i>	8390.665	599	14.008		

Without accounting for differences between classes

Between Versions A, B, C, D	68.273	3	22.758	2.892	0.034
Total variance accounted for	3708.536	4	927.134	117.819	0.001
Residual (error variance)	4682.129	595	7.869		

Table II.

Analysis of Variance for Reading Times

<i>Source of variation</i>	Sum of squares	df	Mean square	F	$p \leq$
Main effects	11904.508	21	566.881	39.652	0.001
Between versions A, B, C, D	237.226	3	79.075	5.531	0.001
Between classes	11701.906	18	650.106	45.473	0.001
Interaction	1713.995	50	34.280	2.398	0.001
Variance accounted for	13618.503	71	191.810	13.417	0.001
Residual (error)	7548.535	528	14.296		
<i>Total</i>	21167.038	599	35.337		

Table III.

Pairwise t-Tests between Standard Version A and Versions B, C, and D for Reading Time and Achievement Score

<i>Achievement Score</i>	<i>Version</i>	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>Deviation</i>	<i>Result of t-Test against Version A</i>	<i>p ≤</i>
	A	150	4.2	2.9	—	—
	B	148	3.5	2.8	2.16	0.032
	C	151	3.8	2.7	1.27	0.206
	D	151	4.4	2.9	-0.45	0.651
<i>Reading Time</i>	A	150	17.7	5.4	—	—
	B	148	18.2	6.3	-0.72	0.471
	C	151	17.3	5.0	0.67	0.506
	D	151	16.6	6.8	1.54	0.124

Table IV.

Superiority (+) and Inferiority (-) of Versions B, C and D as Compared to Version A in Different School Classes

<i>Form</i>	<i>Version B</i>		<i>Version C</i>		<i>Version D</i>	
	<i>time</i>	<i>achievement</i>	<i>time</i>	<i>achievement</i>	<i>time</i>	<i>achievement</i>
1	—	+	+	+	—	+
2	—	+	+	+	+	+
3	—	—	—	—	+	+
4	+	—	—	—	+	+
5	+	—	+	—	+	—
6	+	—	+	+	+	+
7	+	+	—	+	+	+
8	—	—	+	+	+	—
9	—	—	—	—	—	+
10	—	—	+	—	+	+
11	+	+	+	—	+	—
12	—	+	+	+	—	+
13	+	—	+	+	+	—
14	—	—	—	—	—	—
15	+	—	+	—	+	—
16	—	—	—	—	+	+
17	+	—	—	—	+	—
18	+	+	—	+	+	+
<i>Total</i>						
<i>+/18</i>	+	6	10	8	14	11
<i>Total</i>						
<i>++/18</i>		2		6		8
<i>Total</i>						
<i>—/18</i>		6		5		1

Optimal Line Length

The two columns in Version B take, on the average, a little more reading time (18.2 minutes) compared to the standard Version A (17.3 minutes), and achievement after reading Version B is a little lower (8.46 points on the average) than after reading Version A (9.08 points). Pairwise t-tests between Versions A and B resulted in $t = -2.66$ ($p < 0.01$) (in favor of Version A) for achievement test scores (using the corrected error variance term), and in $t = 1.16$ ($p > 0.05$) for reading time. Based on these results, nothing can be recommended as to whether or not to use one or two column typographic design, given the page format used in school textbooks. In their personal preferences the students slightly preferred the two-column Version B over the standard Version A.

Additional Spaces

Version C (with additional different spaces between words) is read slightly but not significantly faster (17.3 minutes) than the standard Version A (17.7 minutes). The knowledge achieved after reading Version C (8.88 points) is slightly (but also not significantly) lower than after reading Version A (9.08 points). Pairwise t-tests between Versions A and C resulted in $t = -0.77$ ($p > 0.05$) for reading time. Students like Version C slightly better than Version A. However, the differences resulting from this experimental study are so small that it probably does not pay to implement this principle of structuring the sentences for textbooks in general, taking into account the considerable effort necessary to produce such texts. On the other hand, we must not forget that reading effectiveness is largely dependent on reading habits, and reading just one short story in the week preceding the experiment was probably too little experience to familiarize our subjects with this new way of transmitting language information.

Visualizing the Information

Reading the visualized Version D took the shortest mean reading time (16.6 minutes) and resulted in the largest gain of knowledge (average achievement test scores 9.42 points). Pairwise t-tests between Versions A and D resulted in $t = +0.5$ ($p > 0.05$) for achievement test scores, and in $t = -2.56$ ($0.01 < p < 0.05$) for reading time; i.e., Version D was read in significantly shorter time, and even with a little (insignificantly) more achievement gained. Besides that, it was most popular among the students in their subjective rank order preference. Thus this kind of textbook design seems to be most efficient among the versions tested in this study. In spite of the fact that pairwise t-tests between Versions A and D did not reach the conventional levels in significance, we consider this a relevant result in favor of the new form because of the unusual textbook design being unfamiliar to the subjects. The short lesson given to them in the new style one week prior to the experiment could hardly make up for the life long experience with the old style. This, together with the overwhelming popularity of Version D in the subjects' preference order (which probably has a strong motivating effect to work with such materials) lead us to recommend the design of textbooks in the style of Version D.

The largest source of variance were differences between participating school classes, with reading times as well as with achievement scores. Even with the use of the test score before reading the text as a covariate, consideration of classes as a source of variance reduces the error variance term considerably as can be seen by comparing the upper and lower part of Table I.

Interactions

In both reading time as well as achievement test scores there is a significant interaction between the main variable "classes" and "Versions." That means that differences in the effectiveness of the different Versions is not of the same intensity, nor in the same direction in the different classes. Some classes take more time reading Version D than Version A, whereas others take considerably less time, and still others only little less time. Similar interactions can be found for achievement scores, but these interactions are by no means related to those found in the reading times. In one class readers of Version D took on the average 3.3 minutes more time than readers of Version A, but gained on the average 2 points more than those. The "disadvantage" of taking more time is in this case compensated by a larger knowledge gain with Version D. It is not, however, our concern to discuss how to evaluate reading time and efficiency against each other. In other classes, however, both reading time and achievement scores are in the same direction favoring one version or the other. Such advantages are displayed in Table IV; pluses indicate superiority of the respective version over the standard Version A, minuses indicate inferiority. Table IV shows that Version B is inferior to Version A in both variables in six classes, but superior in only two classes, whereas Version D is superior to Version A in both variables in eight classes, and inferior in both variables only in one class.

Discussion

Our concern, with this study, has been the exploration of possibilities to improve the effectiveness of the typographic design of textbooks. "Effectiveness" has been measured by three variables: speed of reading, knowledge gained as measured in an achievement test, and subjects' preference as an indicator of their motivation to work with the material. "Possibilities of improvement" have been oriented at the practical feasibility given to a textbook publisher: the first (and simplest) means would have been to change line length by going from one-column pages to two-column pages (Version B). Our experiment indicated that this would be no improvement at all but rather result in slower reading and less knowledge gained.

The next step, Version C, would require extra work by both the publisher and the author in providing additional spacing to visualize the linguistic structure of the text. This resulted in only a little improvement in reading time and a little less knowledge gained — altogether insignificantly. This means of changing typography cannot be recommended based on these results. However, it should be kept in mind that this change in typography is contrary to the reading experience of our subjects, and may still be effective after longer training in reading this style of typography.

The most laborious task to change typography would be to transform textbooks into the typographic style of Version D. The whole text would have to be rewritten and restructured. However, the results are most encouraging to this task, at least when writing and designing new textbooks. The new style of Version D seems to be not only most appealing to the student (which is important from a motivational point of view) but also more effective both in terms of reading time and achievement gained — in spite of the fact that it is rather unusual for their reading habits.

Acknowledgements

We are grateful to the Ernst Klett Verlag, Stuttgart, for sponsoring the research reported here and to various members of the staff for their advice, especially Messrs. Pohle and Dorn. We are also grateful to Dierk Becker and Jörg Heinrich for designing Version D of our experimental material; to Wolfgang Walter for assigning the additional spaces in Version C, and to Christa Günther for experimentally determining the appropriate size of these spaces; to Drs. Duit and Häussler, Mr. Ehrenfort, Mrs. Faas and Mrs. Steenberg for their help in designing the achievement test; to the headmasters, physics teachers, and 600 students in the secondary schools of Delmenhorst, Ganderkesee, Harsum, Wiesmoor, and Wildeshausen, Lower Saxonie, for participating in the experiment; to Dr. Hartmut Fillbrandt and Dr. Scherzer for processing the data; and to two anonymous reviewers for some valuable hints for a revised version of the paper.

- Andrews, R. B., Reading power unlimited. *Tex. Outlook*, 1949, 33, 20—21
- Anglin, J. M., & Miller, G. A., The role of phrase structure in the recall of meaningful verbal material. *Psychonomic Science*, 1968, 10, 343—344
- Becker, D., & Heinrich, J., Untersuchung über die Wirksamkeit typographischer Mittel. Sem. Arb. HfbK Hamburg
- Becker, D., & Heinrich, J., Studien zur Typographie. Untersuchungen zum motivationalen Anreiz von Überschriften-Typengröße, -Typenart und -Typenstärke in bezug zu verschiedenen Grundtexten. Diplomarbeit HfbK Hamburg
- Carver, R. P., Effect of a "chunked" typography upon reading rate and comprehension. *J. Appl. Psychol.*, 1970, 54, 288—296
- Coleman, E. B., & Hahn, S. C., Failure to improve readability with vertical typography. *J. Appl. Psychol.*, 1966, 50, 434—436
- Cromer, W., The difference model: a new explanation for some reading difficulties. *J. Educ. Psychol.*, 1970, 61, 471—483
- Cyrus, V. J., Linguistic features of scribal spacing. *Visible Language*, 1971, 5, 101—110.
- Epstein, W., Some conditions of the influence of syntactical structure on learning: grammatical transformation, learning instructions, and "chunking." *J. Ver. Learn. and Ver. Behav.*, 1967, 6, 415—419
- Fodor, J. A., & Bever, T. G., The psychological reality of linguistic segments. *J. Ver. Learn. and Ver. Behav.*, 1965, 4, 414—420
- Graf, R., & Torrey, J. W., Perception of phrase structure in written language. *Proceedings of the 74th Annual Convention of the American Psychological Association*, 1966, 83—84 (Summary).
- Hartley, J., *Designing Instructional Text*. Kogan Page, London, 1978
- Hartley, J., & Burnhill, P., Experiments with unjustified text. *Visible Language*, 1971, 5, 265—277
- Hartley, J., & Burnhill, P., Explorations in space: a critique of the typography of the B.P.S. publications. *Bul. Brit. Psychol. Soc.*, 1976, 29, 97—107
- Hartley, J., Burnhill, P., & Davies, L., The effects of line length and paragraph denotation on the retrieval of information from prose text. *Visible Language*, 1978, 12, 183—194
- Jewett, D. L. Query directed teaching as a means of increasing productivity in science education. *Persp. Biol. and Med.*, 1972, 15, 460—472
- Jewett, D. L., The role of tested multilevel textbooks in medical education. *Persp. Biol. and Med.*, 1972, 15, 450—459
- Klare, G. R., Nichols, W. H., & Shuford, E. H., The relation of typographic arrangement to the learning of technical material. *J. Appl. Psychol.*, 1957, 41, 41—45
- Mehler, J., Bever, T. G., & Carey, P., What we look at when we read. *Percep. and Psychop.*, 1967, 2, 213—218
- Nahinsky, I. D., The influence of certain typographical arrangements upon span of visual comprehension. *J. Appl. Psychol.*, 1956, 40, 37—39
- North, A. J., & Jenkins, L. B., Reading Speed and Comprehension as a Function of Typography. *J. Appl. Ps.*, 1951, 35, 225—228
- Payne, D. E., Readability of typewritten material: proportional versus standard spacing. *J. Typog. Res. (now Visible Language)*, 1967, 1, 125—136.
- Plata, W., A study of newspaper design. Analysis and synthesis of legibility research and its application. M.A. Thesis in Design, Univ. of Nairobi, Kenya, 1974
- Rehe, R. F., *Typography: How to make it most legible*. Design Research Publications, Indianapolis, 1974, 1976₂
- Spencer, H., *The Visible Word*. Royal College of Art, London, 1968
- Teigeler, P., *Verständlichkeit und Wirksamkeit von Sprache und Text*. Reihe Effektive Werbung I, Verlag Nadolski Stuttgart, 1968

- Tinker, M. A., Rate of work in reading performance as measured in standordited tests. *J. Educ. Psych.*, 1945, 36, 217—228
- Tinker, M. A., Length of work periods in visual research. *J. Appl. Psychol.*, 1958, 42, 343—345
- Tinker, M. A., *Legibility of Print*. Iowa State Univ. Press, 1963
- Tinker, M. A., *Bases for effective reading*. Minneapolis: Univ. Minnesota Press, 1965
- Watts, L., & Nisbet, J., *Legibility in Children's Books*. National Foundation for Educational Research, 1974
- Wendt, D., Zur Konstruktion eines Lesetextes sowie zur Abschätzung des notwendigen Stichprobenumfangs bei der Untersuchung der Lesbarkeit von Druckschriften. Bericht über Vorversuche. *Psych. Inst. Univ. Hamburg*, 1965
- Wendt, D., Parallelisierung zweier Lesetexte aus der Übersetzung des Tinker Speed of Reading Tests zur Ermöglichung zeitbegrenzter anstelle arbeitsbegrenzter Lesetests (Gruppen- statt Einzelversuchen). Untersuchungen zur Lesbarkeit von Druckschriften, Bericht Nr. 3, Vervielf. Mskr. *Psych. Inst. Univ. Hamburg*, 1966
- Wendt, D., Zur Lesbarkeit von Druckschriften. *Umschau in Wissenschaft und Technik*, 1970, 70 (13), 417—418
- Zachrisson, B. *Studies in the Legibility of Printed Text*. Stockholm-Göteborg-Uppsala: 1965